



Interventionelle Kinderkardiologie

Kretschmar, O ; Navarini, S ; Knirsch, W

Abstract: Perkutane Herzkatheterinterventionen haben sich neben den herzchirurgischen Verfahren zu einem wichtigen Eckpfeiler in der Behandlung angeborener Herzfehler etabliert. Sie kommen bereits im Neugeborenenalter zum Einsatz und können Operationen vor- und nachbereiten oder diese bei bestimmten Herzfehlern vollständig ersetzen. Herzkatheterinterventionen bei Kindern verteilen sich v. a. auf Verschlüsse intrakardialer Shunts, Ballondilatationen und Stent-Implantationen. Als neues Verfahren wurde in den letzten Jahren der perkutane Klappenersatz, v. a. im Bereich degenerierter Grafts in Pulmonalarterienposition, mit einer „stented valve“ sehr erfolgreich eingeführt. Spezielle Hybrideingriffe, die gemeinsam von Herzchirurg und Interventionist vorgenommen werden, z. B. in der Behandlung des hypoplastischen Linksherzsyndroms, erweitern das Spektrum zusätzlich. Die Zukunft wird zusätzlich neue schonendere, möglicherweise bioresorbierbare Materialien für Implantate und neue Implantationsverfahren bringen. Neben diesen spannenden Entwicklungen müssen jedoch auch die Langzeitergebnisse der aktuellen Behandlungsverfahren kritisch weiterverfolgt und die Interventionen ggf. angepasst werden. Percutaneous cardiac catheter interventions have become established as an important cornerstone in the treatment of congenital heart defects in addition to cardiac surgical procedures. They are even performed in newborns and can be used to prepare or to work-up operations and for certain cardiac defects they can even replace them completely. Cardiac catheter interventions in children mostly involve occlusions of intracardiac shunts, balloon dilatation and stent implantation. In recent years a new procedure, percutaneous valve replacement with a stented valve, was very successfully introduced in the treatment of degenerated grafts in pulmonary artery positions. Special hybrid interventions undertaken by cardiac surgeons together with interventionalists, e.g. in the treatment of hypoplastic left heart syndrome, have additionally extended the spectrum. The future will additionally bring a new milder, possibly bioresorbable material for implants and new implantation procedures. However, in addition to these exciting developments the long-term results of current treatment procedures must also be critically followed up and if necessary the interventions must be adapted.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00112-014-3263-x>

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-120404>

Journal Article

Published Version

Originally published at:

Kretschmar, O; Navarini, S; Knirsch, W (2015). Interventionelle Kinderkardiologie. Monatsschrift Kinderheilkunde, 163(1):69-83.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00112-014-3263-x>

Redaktion

R. Berner, Dresden
B. Koletzko, München
W. Sperl, Salzburg



3 Punkte sammeln auf...

springermedizin.de/ eAkademie

Teilnahmemöglichkeiten

Diese Fortbildungseinheit steht Ihnen als e.CME und e.Tutorial in der Springer Medizin e.Akademie zur Verfügung.

- e.CME: kostenfreie Teilnahme im Rahmen des jeweiligen Zeitschriftenabonnements
- e.Tutorial: Teilnahme im Rahmen des e.Med-Abonnements

Zertifizierung

Diese Fortbildungseinheit ist mit 3 CME-Punkten zertifiziert von der Landesärztekammer Hessen und der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig.

Hinweis für Leser aus Österreich

Gemäß dem Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) der Österreichischen Ärztekammer werden die in der e.Akademie erworbenen CME-Punkte hierfür 1:1 als fachspezifische Fortbildung anerkannt.

Kontakt und weitere Informationen

Springer-Verlag GmbH
Springer Medizin Kundenservice
Tel. 0800 77 80 777
E-Mail: kundenservice@springermedizin.de

CME Zertifizierte Fortbildung

O. Kretschmar¹ · S. Navarini^{1,2} · W. Knirsch¹

¹ Universitätskinderklinik Zürich

² Universitäts-Kinderspital Basel

Interventionelle Kinderkardiologie

Zusammenfassung

Perkutane Herzkatheterinterventionen haben sich neben den herzchirurgischen Verfahren zu einem wichtigen Eckpfeiler in der Behandlung angeborener Herzfehler etabliert. Sie kommen bereits im Neugeborenenalter zum Einsatz und können Operationen vor- und nachbereiten oder diese bei bestimmten Herzfehlern vollständig ersetzen. Herzkatheterinterventionen bei Kindern verteilen sich v. a. auf Verschlüsse intrakardialer Shunts, Ballondilatationen und Stent-Implantationen. Als neues Verfahren wurde in den letzten Jahren der perkutane Klappenersatz, v. a. im Bereich degenerierter Grafts in Pulmonalarterienposition, mit einer „stented valve“ sehr erfolgreich eingeführt. Spezielle Hybrideingriffe, die gemeinsam von Herzchirurg und Interventionist vorgenommen werden, z. B. in der Behandlung des hypoplastischen Linksherzsyndroms, erweitern das Spektrum zusätzlich. Die Zukunft wird zusätzlich neue schonendere, möglicherweise bioresorbierbare Materialien für Implantate und neue Implantationsverfahren bringen. Neben diesen spannenden Entwicklungen müssen jedoch auch die Langzeitergebnisse der aktuellen Behandlungsverfahren kritisch weiterverfolgt und die Interventionen ggf. angepasst werden.

Schlüsselwörter

Angeborene Herzfehler · Herzkatheterisierung · Shunt · Stent · Interventionen

Herzkatheterisierungen stellen heute vorwiegend interventionelle Eingriffe mit der Möglichkeit einer nichtoperativen Therapie dar

Das Risiko für allgemeine Komplikationen von Herzkatheteruntersuchungen im Kindesalter beträgt <1%

Im Säuglingsalter können Interventionen bereits über eine 4-F-Schleuse durchgeführt werden

Lernziele

Nach der Lektüre dieses Beitrags ...

- kennen Sie den aktuellen Stellenwert von Herzkatheterinterventionen auch im Vergleich zu chirurgischen Verfahren in der Behandlung angeborener Herzfehler im Kindesalter.
- sind Sie in der Lage, die wichtigsten katheterinterventionellen Verfahren zu beschreiben.
- können Sie die Katheterinterventionen ebenfalls im Hinblick auf ihr langfristiges Ergebnis bewerten.

Einleitung

Herzkatheteruntersuchungen beim Kind haben in den letzten Jahren einen enormen Wandel durchgemacht. Früher handelte es sich um rein **diagnostische Untersuchungen**, die heute häufig durch nichtinvasive Verfahren (v. a. „magnetic resonance imaging“, MRI) ersetzt werden konnten. Heute sind es vorwiegend interventionelle Eingriffe mit der Möglichkeit einer nichtoperativen Therapie. Diagnostische Herzkatheteruntersuchungen bei angeborenen Herzfehlern werden noch zur Bestimmung der Lungengefäßdrücke und -widerstände bei Patienten mit univentrikulärem Herzen vor Glenn- und Fontan-Operationen, zur Testung der Lungengefäßreagibilität bei Patienten mit pulmonalerarterieller Hypertonie sowie zur Darstellung komplexer und kleiner anatomischer Verhältnisse, z. B. bei Koronaranomalien/-fisteln, mit der Option einer interventionellen Therapie benötigt. Heute macht der Anteil an Interventionen bei angeborenen Herzfehlern ca. drei Viertel der durchgeführten Herzkatheteruntersuchungen aus mit weiterhin jährlich steigenden absoluten Zahlen. Aufgrund der geringen Invasivität im Vergleich zur Operation können die Patienten oft bereits nach 1 bis 2 Tagen nach Hause entlassen werden.

Das Risiko für allgemeine Komplikationen von Herzkatheteruntersuchungen im Kindesalter, wie Infektionen, Gefäßverletzungen, Blutungen, Thrombosen und Thromboembolien, ist über alle Altersgruppen gesehen mit <1% gering. Bei Säuglingen steigt jedoch das Risiko für Gefäßverletzungen und Thrombosen an den **femorale Punktionsstellen** aufgrund der Kleinheit der Gefäße an. Um Herzkatheterinterventionen bereits bei kleinen Kindern und Säuglingen durchführen zu können, sind die Katheter und Interventionssysteme immer schlanker geworden.

Im Säuglingsalter können diagnostische Herzkatheter über eine 3-F-Schleuse [1 French (F) = 0,33 mm] und Interventionen bereits über eine 4-F-Schleuse durchgeführt werden. Als Zugangsweg

Interventional pediatric cardiology

Abstract

Percutaneous cardiac catheter interventions have become established as an important cornerstone in the treatment of congenital heart defects in addition to cardiac surgical procedures. They are even performed in newborns and can be used to prepare or to work-up operations and for certain cardiac defects they can even replace them completely. Cardiac catheter interventions in children mostly involve occlusions of intracardiac shunts, balloon dilatation and stent implantation. In recent years a new procedure, percutaneous valve replacement with a stented valve, was very successfully introduced in the treatment of degenerated grafts in pulmonary artery positions. Special hybrid interventions undertaken by cardiac surgeons together with interventionalists, e.g. in the treatment of hypoplastic left heart syndrome, have additionally extended the spectrum. The future will additionally bring a new milder, possibly bioresorbable material for implants and new implantation procedures. However, in addition to these exciting developments the long-term results of current treatment procedures must also be critically followed up and if necessary the interventions must be adapted.

Keywords

Congenital heart defects · Heart catheterization · Shunt · Stent · Interventions

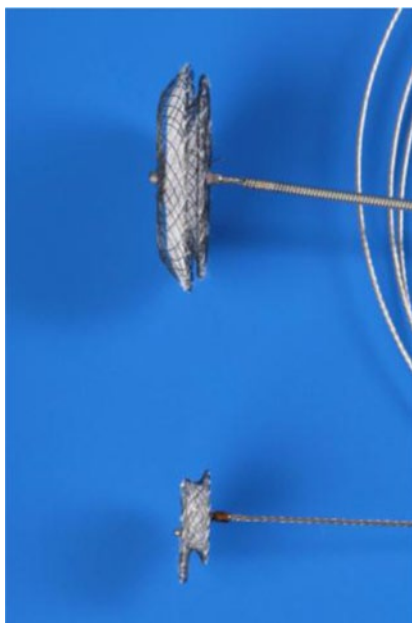


Abb. 1 ▲ Amplatzer™ Septal Occluder (oben) zum Verschluss eines Vorhofseptumdefekts vom Sekundumtyp sowie asymmetrischer Amplatzer™ Membranous VSD Occluder (unten) zum interventionellen Verschluss eines perimembranösen Ventrikelseptumdefekts

dienen meistens die Femoralgefäße (Arterie oder/und Vene). Seltener wählt man einen Zugang über die V. jugularis, V. subclavia, die Nabelgefäße sowie die A. brachialis und die A. radialis. Zur Vermeidung einer peri-/postinterventionellen Thrombose der kleinen Gefäße sind wichtig:

- schonende Gefäßpunktion, bei kleinen Kindern und schwierigen Fällen unter Ultraschallkontrolle,
- Verwendung kleinstmöglicher Gefäßschleusen,
- möglichst kurze Intervention,
- peri- und postinterventionelle Antikoagulation mit Standardheparin oder niedermolekularem Heparin,
- schonende Kompression der Punktionsstelle nach Entfernung der Schleusen.

Je nach institutioneller Präferenz werden Herzkatheteruntersuchungen bei Kindern in Intubationsnarkose oder spontanatmend in tiefer Sedierung durchgeführt. Die Herzkatheterinterventionen bei Kindern verteilen sich v. a. auf:

- Verschlüsse intrakardialer Shunts (ca. 40–50%),
- Ballondilatationen (ca. 25–40%) und
- Stent-Implantationen (ca. 10–20%).

Interventioneller Verschluss intra- und extrakardialer Shunt-Verbindungen

Vorhofseptumdefekt

Der interventionelle Verschluss des Vorhofseptumdefekts vom Sekundumtyp (Atriumseptumdefekt, ASD II) ist mittlerweile Therapie der Wahl und ein etablierter Routineeingriff [1]. Indiziert ist dieser bei einem entsprechenden klinischen Nachweis einer Volumenüberlastung des rechten Ventrikels (d. h. Links-rechts-Shunt mit einem Flussverhältnis Qp:Qs von 1,5:1 oder einer Vergrößerung des rechten Ventrikels). Zirka 85–90% aller ASD können heute katheterinterventionell verschlossen werden. Es stehen mehrere **Okkluder** zur Verfügung. Den meisten gemeinsam ist ein selbstzentrierender Doppelschirm in unterschiedlicher Größe. Das wichtigste und weiterhin am häufigsten implantierte „device“ ist der Amplatzer™ Septal Occluder aus einem sehr flexiblen Nitinoldrahtgeflecht (Fa. St. Jude, AGA Medical Corporation, Golden Valley, MN, USA; ■ **Abb. 1**). Die Doppelschirme sind entsprechend elastisch und werden außerhalb des Körpers komplett gestreckt, sodass sie in eine möglichst kleine Implantationsschleuse passen. Im ASD II werden die Schirme aus der langen Schleuse entwickelt und zentrieren sich im Defekt von selbst (■ **Abb. 2**).

Es besteht v. a. für den Amplatzer™ Septal Occluder eine große therapeutische Breite mit der Möglichkeit zum Verschluss von Defekten bis maximal 40 mm. Limitationen des Verfahrens sind neben der Größe von Patient und Defekt v. a. stabile sowie ausreichend vorhandene Randstrukturen des Defekts und die Nähe zu umliegenden intrakardialen Strukturen wie Lungen- und Systemvenen, zum Koronarsinus und zu den atrioventrikulären Klappen. Die heutigen **Erfolgsraten** eines solchen Verschlusses liegen bei über 97% [2]. Die Komplikationsrate ist mit deutlich unter 1% sehr gering, es muss jedoch mit größter Sorgfalt auf eine Vermeidung dieser möglichen Komplikationen (u. a. Gewebeerosion, Device-Embolie, Luftembolie etc.) geachtet werden, da sie ein hohes Gefährdungspotenzial für den Patienten darstellen.

Mit entsprechender Expertise, Standardisierung der Implantationsschritte und der Ultraschall-ebenen und Beschränkung des Eingriffs „auf das Wesentliche“ können viele ASD-Verschlüsse auch gänzlich ohne Röntgendurchleuchtung unter alleiniger transösophagealer echokardiographischer

Zirka 85–90% aller ASD können heute katheterinterventionell verschlossen werden

Die Möglichkeit zum Verschluss von Defekten bis maximal 40 mm ist gegeben

Viele ASD-Verschlüsse können unter alleiniger transösophagealer echokardiographischer Kontrolle durchgeführt werden

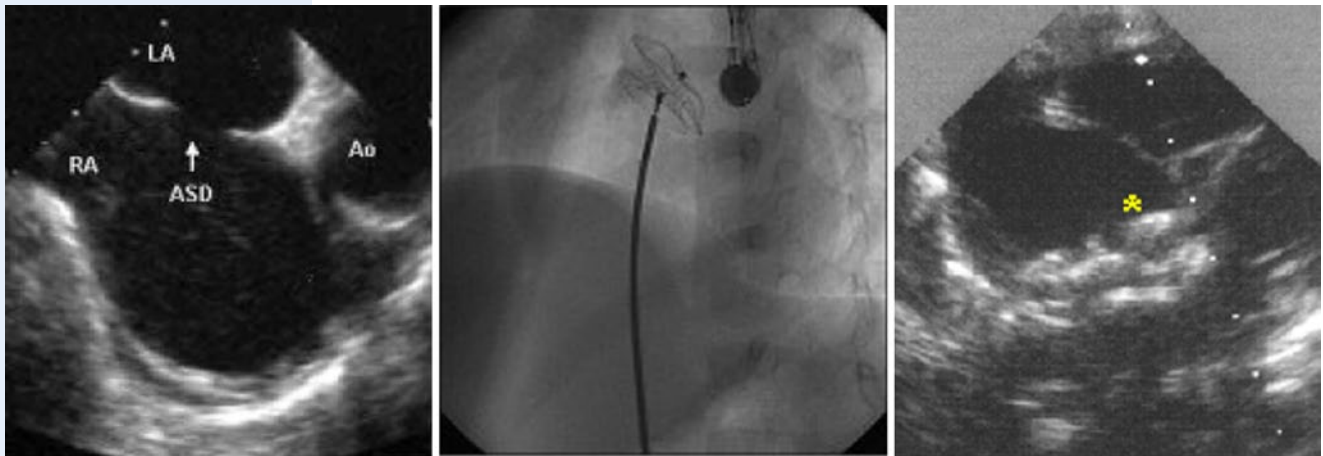


Abb. 2 ▲ Links Vorhofseptumdefekt vom Sekundumtyp in der transösophagealen Echokardiographie, Mitte Verschluss-Device unter Röntgendurchleuchtung noch am Implantationsdraht, bereits implantiert, rechts Device (Asteriskus) nach Implantation und Ablösen vom Implantationsdraht

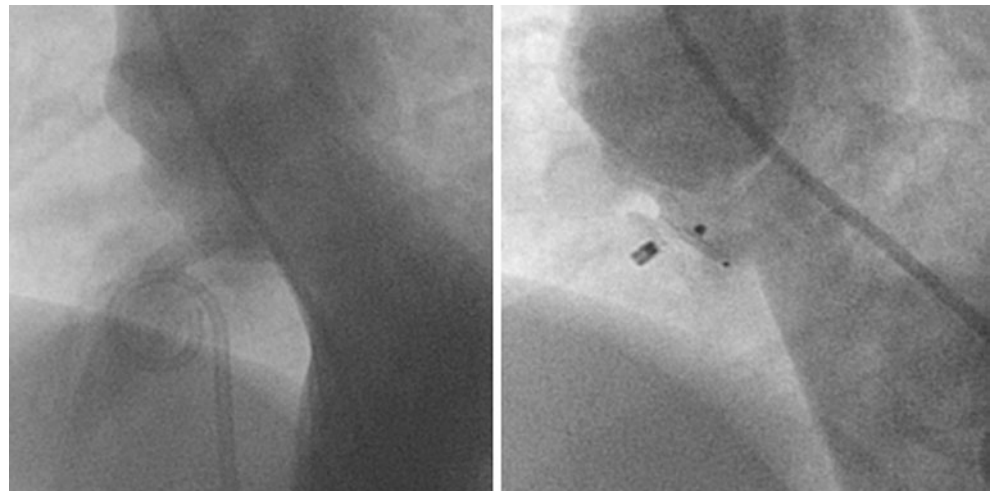


Abb. 3 ▲ Angiographische Darstellung eines perimembranösen Ventrikelseptumdefekts unterhalb der Aortenklappe vor (links) und nach (rechts) Implantation eines asymmetrischen Amplatzer™ Membranous VSD Occluder

Kontrolle durchgeführt werden; dies bedeutet eine vollständige Vermeidung der Stahlenbelastung für die Patienten [3].

Die Langzeitergebnisse nach über 10 Jahren sind hervorragend. Die bereits eingesetzten Okkluder liegen stabil, und es sind keine relevanten unerwünschten Nebenwirkungen wie Rekanalisierung und Allergien aufgetreten.

Ventrikelseptumdefekt

Der isolierte Ventrikelseptumdefekt (VSD) ist der häufigste angeborene Herzfehler. **Große nichtrestriktive Defekte** müssen meistens aufgrund der Volumenbelastung sowie der Entwicklung einer pulmonalen Hypertension in den ersten 6 Lebensmonaten operativ verschlossen werden [1]. Kleine VSD ohne hämodynamische Relevanz bedürfen keiner Therapie, und es kann bei Druckrestriktion über den VSD ein Spontanverschluss abgewartet werden. Kleine bis mittelgroße perimembranöse VSD können bei ausreichendem Abstand zur Aortenklappe auch katheterinterventionell verschlossen werden [4]. Dazu stehen der asymmetrisch konfigurierte Amplatzer™ Membranous VSD Occluder (■ **Abb. 1, 3**) oder andere Doppelspiralsysteme, z. B. Nit-Occlud Lè-VSD-Spirale™ (Fa. pfm Medical AG, Köln, Deutschland), zur Verfügung. Für den interventionellen Verschluss von **muskulären VSD**, die sich aufgrund der Lage und Zugänglichkeit besser für einen interventionellen Verschluss eignen, existiert zusätzlich der spezifische Amplatzer™ Muscular VSD Occluder.

Kleine bis mittelgroße perimembranöse VSD können bei ausreichendem Abstand zur Aortenklappe katheterinterventionell verschlossen werden



Abb. 4 ▲ Links Coils der Fa. Cook in verschiedenen Größen (mit „Haaren“ zur Erhöhung der Thrombogenität des Implantats), rechts Amplatzer™ Duct Occluder zum interventionellen Verschluss eines persistierenden Ductus arteriosus

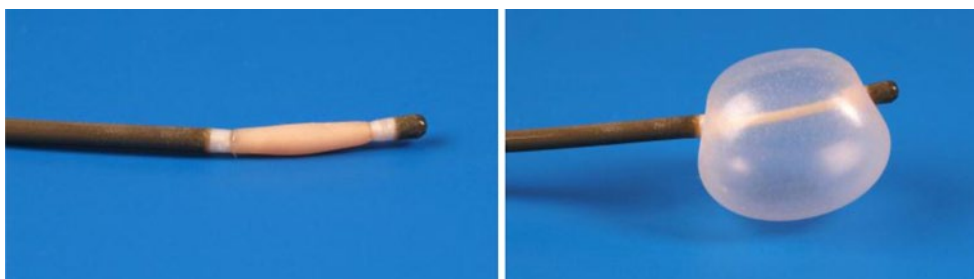


Abb. 5 ▲ Rashkind-Ballonkatheter zur Ballonatrioseptostomie in ungefülltem Zustand (links) und gefülltem Zustand (rechts)

Eine seltene, aber gefürchtete Nebenwirkung ist der komplette atrioventrikuläre (AV-)Block als Folge des mechanischen Drucks auf das Reizleitungssystem und/oder Entzündungsreaktionen sowie Narbenbildung durch das Device. Je näher der VSD am Reizleitungssystem liegt, desto größer ist das Risiko eines kompletten AV-Blocks nach der Intervention. Es handelt sich aber insgesamt um eine seltene Nebenwirkung von etwa 1–4% [5]. Mit dem besseren Verständnis der Genese dieser Komplikation und der zunehmenden Erfahrung ist die Rate heutzutage sicherlich deutlich geringer, mit der weichen und fast atraumatischen Nit-Occlud Lê-VSD-Spirale™ ist ein AV-Block bisher noch überhaupt nicht aufgetreten.

Als Alternative zur Operation oder alleinigen Intervention besteht heute die Möglichkeit der Kombination von Chirurgie und Intervention im Sinne eines sog. **Hybrideingriffs**. Hierbei wird unter Ultraschallkontrolle am offenen Thorax und am schlagenden Herzen über eine Implantationsschleuse durch die freie rechtsventrikuläre Wand ein Schirm im VSD platziert. Der Vorteil im Vergleich zur reinen Operation liegt in der Vermeidung des Anschlusses an die Herz-Lungen-Maschine (HLM) und eines möglicherweise schwierigen Gefäßzugangs bei sehr kleinen Kindern [6, 7].

Persistierender Ductus arteriosus

Der interventionelle Verschluss des hämodynamisch relevanten persistierenden Ductus arteriosus (PDA) ist inzwischen ein etabliertes Verfahren und bei Kindern mit einem Körpergewicht von mehr als 5 kg meist Therapie der 1. Wahl [1, 8]. Lediglich bei kleinen Frühgeborenen wird noch der operative Verschluss via lateraler Thorakotomie bevorzugt. Mit der Anpassung der Endokarditisprophylaxe-Richtlinien [9] ist der Verschluss eines kleinen PDA ohne relevanten Links-rechts-Shunt nicht mehr indiziert. Zum interventionellen Verschluss stehen verschiedene Metallspiral (Coils) oder eine Art **Gefäßpropf** aus einem Nitinoldrahtgeflecht (Amplatzer™ Duct Occluder; ■ Abb. 4) zur Verfügung.

Bei kleinem PDA (<2 mm Durchmesser) werden Coils in die engste Stelle des Ductus platziert, die dadurch stattfindende **Thrombosierung** führt zu einem kompletten Verschluss des Gefäßes. Bei größerem Ductus (>2 mm Durchmesser) wird meist der Amplatzer™ Duct Occluder bevorzugt. Der Zugang kann von venöser Seite über die Pulmonalarterie in den Ductus oder von arterieller Seite über die Aorta in den Ductus erfolgen. Die Verschlussraten betragen nahezu 100%; Komplikationen sind glücklicherweise sehr selten und beinhalten wie bei allen Implantationen die mögliche Embolisation des Device.

Der komplette AV-Block ist eine gefürchtete Nebenwirkung

Der interventionelle Verschluss des hämodynamisch relevanten PDA ist bei Kindern mit ≥ 5 kgKG meist Therapie der 1. Wahl

Die Verschlussraten betragen nahezu 100%

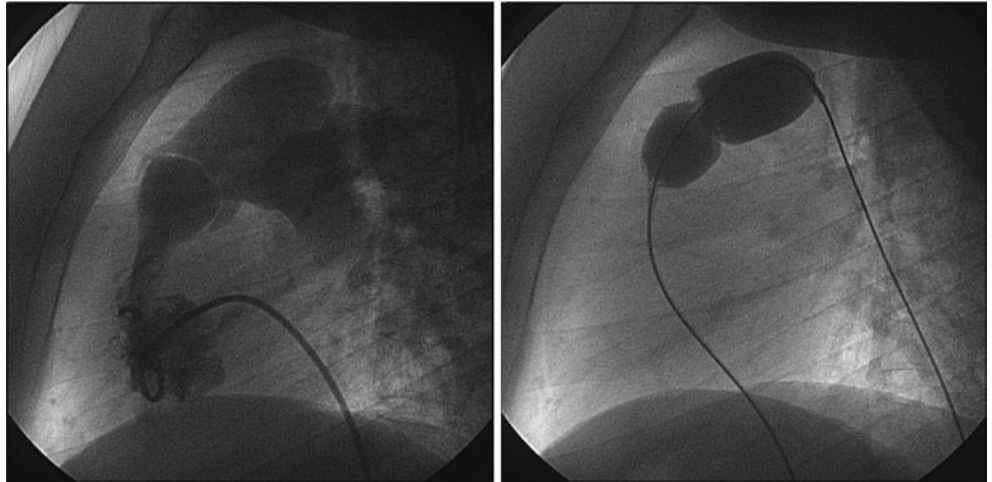


Abb. 6 ▲ Ballonvalvuloplastie bei einem Neugeborenen mit schwerer Pulmonalstenose. In der lateralen Projektion angiographische Darstellung der Klappenstenose mit „Domstellung“ der Pulmonalklappensegel (*links*) und der Schnürfurche im Ballonkatheter bei der Dilatation (*rechts*)

Abnormale Gefäßkurzschlussverbindungen

Neben dem bekannten PDA gibt es eine Reihe pathologischer Gefäßverbindungen wie z. B. aortopulmonale Kollateralen, Koronarfisteln und chirurgisch angelegte **Shunt-Verbindungen**, die bei einer Korrekturoperation überflüssig werden. Diese Shunt-Verbindungen können zu einer kardialen Volumenbelastung und Unterhaltung einer pulmonalen Hypertension beitragen und müssen verschlossen werden. Es ist heute eine etablierte Therapie, diese Verbindungen mit Coils oder speziellen Okkludern (z. B. Amplatzer™ Vascular Plugs) interventionell zu verschließen.

Ballonvalvuloplastie und -angioplastie/Stent-Implantationen

Ballonatrioseptostomie (Rashkind-Manöver)

Bereits 1966 wurde das Rashkind-Manöver erstmalig durchgeführt und gilt damit als Pionier der interventionellen Kinderkardiologie ([10]; ■ **Abb. 5**). Der Eingriff dient der Vorbereitung und Stabilisierung von Patienten mit Herzfehlern, die auf eine freie Kommunikation/Durchmischung des Bluts zwischen den beiden Vorhöfen angewiesen sind. Dabei wird ein leerer Ballon von venös durch den zu kleinen Defekt im Vorhofseptum in den linken Vorhof geschoben. Der Ballon wird dann mit Flüssigkeit gefüllt und mit einem kontrollierten Ruck durch das Vorhofseptum zurückgezogen (**Ballonatrioseptostomie**). Dabei kommt es zum Einreißen des Vorhofseptums und somit zu einem größeren Defekt auf Vorhofebene, was eine bessere Durchmischung des arterialisierten sauerstoffreichen Bluts mit dem systemvenösen sauerstoffarmen Blut ermöglicht. Diese Intervention ist v. a. bei zyanotischen Vitien wie der Transposition der großen Arterien notwendig. Bei der Trikuspidalatresie, der Pulmonalatresie und der totalen Lungenvenenfehlmündung wird hiermit der Blutabfluss des systemvenösen Bluts zum linken Ventrikel ermöglicht. Heutzutage ist das Rashkind-Manöver ein Routineeingriff, der direkt auf der Intensivstation unter alleiniger Ultraschallkontrolle und ohne Durchleuchtung durchgeführt wird. Die Patienten können so stabilisiert und nach einigen Tagen kontrolliert der erforderlichen Operation, z. B. Switch-Operation, zugeführt werden.

Pulmonalklappenstenose

Die katheterinterventionelle **Ballondilatation** einer isolierten Pulmonalklappenstenose ist heutzutage Therapie der Wahl ([1, 11], ■ **Abb. 6**). In sehr seltenen Fällen (u. a. drohende Rechtsherzhypoplasie) kann diese bereits intrauterin durch Ballondilatation behandelt werden. Als postnatale Therapieindikation gilt bei Säuglingen und Kleinkindern ein dopplerechokardiographisch gemessener maximaler systolischer Gradient >50 mmHg, bei Schulkindern und Jugendlichen >40 mmHg bei sym-

Das Rashkind-Manöver gilt als Pionier der interventionellen Kinderkardiologie

Das Rashkind-Manöver ist v. a. bei zyanotischen Vitien notwendig



Abb. 7 ◀ „Cutting balloon“ zur Ballonangioplastie therapierefraktärer Pulmonalarterienstenosen

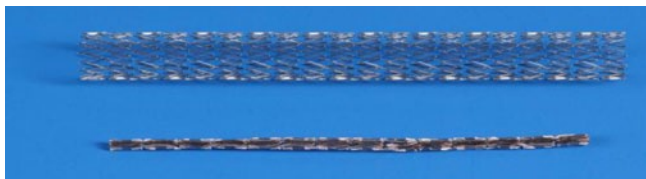


Abb. 8 ◀ Stent in geöffnetem Zustand (*oben*) und zusammengepresstem Zustand (*unten*) zur katheterinterventionellen Behandlung von Gefäßstenosen

ptomfreien Patienten [1]. Bei symptomatischen Patienten und bei kritisch kranken Neugeborenen wird die Dilatation bereits bei einem niedrigeren Druckgradienten durchgeführt. Für die Dilatation wird zumeist ein Ballondurchmesser von ca. 120% des Pulmonalklappenanulus gewählt. Bei reiner Pulmonalklappenstenose mit zugrunde liegender Verschmelzung der Segelkommissuren und mit gut ausgebildetem Klappenring sind die Ergebnisse sehr gut. Das Letalitätsrisiko bei einer Intervention ist auch für Neugeborene sehr niedrig (0–0,5%). Die Rate von erneuten Eingriffen bei Restenose ist ebenfalls sehr gering (5–10%). Die seltener vorkommende dysplastisch veränderte Pulmonalklappe mit myxomatös veränderten Segeln und meist auch hypoplastischem Klappenanulus spricht schlechter auf eine Dilatation an.

In seltenen Fällen kann es nach Jahren zu einer relevanten Pulmonalinsuffizienz mit rechtsseitiger Volumenbelastung kommen [12].

Pulmonalarterienstenose

Pulmonalarterienstenosen treten isoliert oder im Rahmen von komplexen Vitien auf. Ebenso kommen sie als narbige Verengungen nach chirurgischen Eingriffen vor. Die Indikation zur Behandlung peripherer Pulmonalarterienstenosen besteht bei einer Reduktion des Gefäßdurchmessers um 40% bzw. um 30% bei gleichzeitigem Vorliegen einer Druckbelastung des vorgeschalteten Ventrikels. Bei Patienten mit Glenn- bzw. Fontan-Zirkulation sind auch geringfügigere Stenosen behandlungsbedürftig [1]. Im Gegensatz zur Pulmonalklappendilatation bringt die alleinige Ballondilatation der Arterie, die auch hier meistens als erstes therapeutisches Verfahren zum Einsatz kommt, gelegentlich nur einen kurzzeitigen Erfolg [13]. Bei sehr restriktiven Stenosen kann die Dilatation mit einem „cutting balloon“ helfen ([14]; ■ **Abb. 7**). Hierbei wird während der Dilatation durch feine Klingen auf der Ballonhülle die Intima der Gefäßwand kontrolliert eingeschnitten, um diese anschließend mit speziellen Hochdruckballonkathetern nachzudilatieren.

Therapie der Wahl ist aber, wenn es die Größe des Kindes zulässt, in diesen Fällen meist die Stent-Implantation ([15]; ■ **Abb. 8**). Dabei kommen v. a. **ballonexpandierbare Stents** zum Einsatz (■ **Abb. 9**). Die im Kindesalter eingesetzten Stents müssen im weiteren Verlauf des Körper- und Gefäßwachstums ggf. mehrfach nachdilatiert werden [16]. Sie sollten daher optimalerweise von einem relativ geringen Durchmesser bis zum adulten Gefäßdurchmesser dilatierbar sein; dies trifft nicht für alle verfügbaren Stents zu und schränkt damit ihre Verwendung ein. Als Komplikation kann es im Verlauf durch die hohe mechanische Beanspruchung der Stents trotz der eigentlich sehr stabilen Metalllegierungen (u. a. Kobaltchrom, Platin, Nickeltitan, Stahl) zu einer **Stent-Fraktur** kommen oder bei kleinem Gefäßdurchmesser mit geringem (venöse Stents) oder turbulentem Blutfluss zum Einwachsen von Neointima in den Stent mit nachfolgender Stenose. Thrombosierung oder embolische Komplikationen, die in der Erwachsenenmedizin bei Koronar-Stents häufig beobachtet werden, stellen in dieser Patientenpopulation kaum ein Problem dar. Ähnlich wie beim VSD gibt es zusätzlich die Möglichkeit eines Hybridverfahrens. Hierbei wird während einer Operation unter Sicht ein Pulmonalarterien-Stent eingesetzt, sodass ein großes Implantationssystem zur transfemorale Implantation vermieden, der Stent exakt an der richtigen Stelle platziert und auf die operative Erweiterung einer chirurgisch schwer erreichbaren Stenose verzichtet werden kann (s. Abschn. „Hybridtherapie“).

Bei reiner Pulmonalklappenstenose sind die Ergebnisse sehr gut

Bei Patienten mit Glenn- bzw. Fontan-Zirkulation sind geringfügigere Stenosen behandlungsbedürftig

Die Stents sollten von einem relativ geringen Durchmesser bis zum adulten Gefäßdurchmesser dilatierbar sein

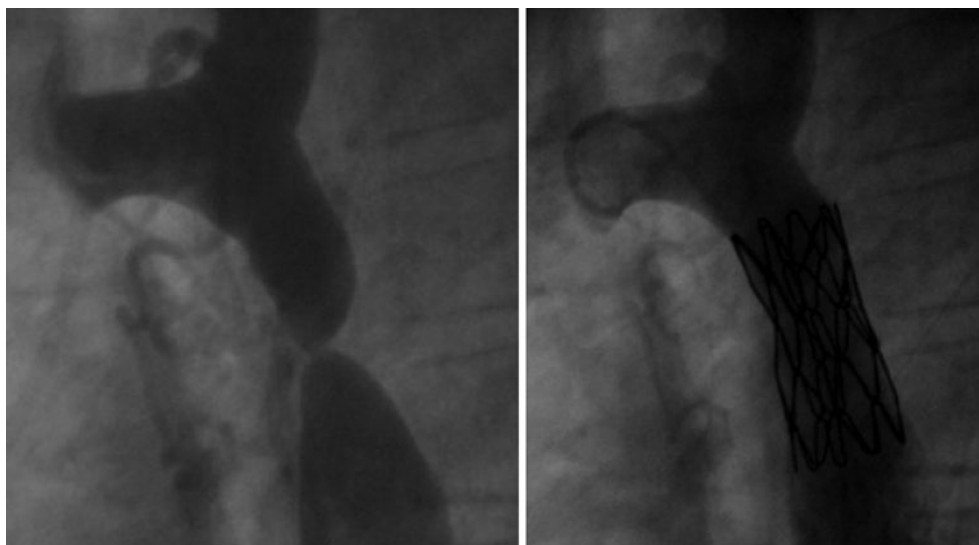


Abb. 9 ▲ Angiographie (laterale Projektion) bei schwerer nativer subaortetischer Aortenisthmusstenose bei einem 10-jährigen Jungen vor (*links*) und nach (*rechts*) Implantation eines „covered CP“ stent[®]. (Fa. NuMED Inc., Hopkinton, New York, USA)

Aortenklappenstenose

Wie bei der Pulmonalklappenstenose stellt die Ballondilatation der Aortenklappenstenose eine effektive Behandlung mit geringerer Invasivität als die Chirurgie dar. In sehr seltenen Fällen (u. a. drohende Linksherzhypoplasie) kann diese bereits intrauterin durchgeführt werden. Voraussetzungen für eine erfolgreiche postnatale Dilatation sind ein ausreichend weiter Klappenring und eine weitgehend kompetente Klappe ohne relevante Insuffizienz vor der Dilatation. Das Ziel bei der Dilatation der Aortenklappe ist es, den Druckgradienten auf ein mildes oder moderates Niveau zu senken, sodass Zeit bis zu einer chirurgischen Therapie gewonnen werden kann. Als Therapieindikation gilt ein dopplerechokardiographisch bestimmter systolischer Druckgradient >65 mmHg bzw. ein rechnerisch mittlerer Druckgradient >40 mmHg oder ein invasiv gemessener „Peak-to-peak“-Druckgradient von 50 mmHg. Diese Werte gelten bei ruhigem Kind und suffizientem linken Ventrikel, wobei im Kindesalter dem echokardiographisch bestimmten mittleren Gradienten die höchste Wertigkeit zukommt. Liegt eine eingeschränkte linksventrikuläre Funktion oder eine Dilatation des linken Ventrikels vor, oder zeigen sich im Ruhe-Elektrokardiogramm (Ruhe-EKG) Erregungsrückbildungsstörungen und in der Ergometrie pathologische Befunde, ist auch bei niedrigeren Ruhegradienten die Indikation zur Therapie gegeben [1]. Anders als bei der Pulmonalklappe wird eine **Aortenklappeninsuffizienz** mit konsekutiver Volumenbelastung des linken Ventrikels schlechter vertragen als auf der rechten Seite. Deshalb ist eine schonende und behutsame Dilatation mit einem initialen Ballondurchmesser von 80–90% des Aortenannulusdurchmessers erforderlich. Diese kann retrograd über die Aorta (■ **Abb. 10**) oder auch antegrad von venös über das noch offene Foramen ovale beim Neugeborenen erfolgen. Während des Eingriffs kann zur Stabilisierung des Ballons v. a. bei älteren Kindern ein **funktioneller Herzstillstand** durch schnelle ventrikuläre Stimulation oder Adenosin hilfreich sein [17].

Selten ist die alleinige Ballondilatation der Aortenklappe beim kritisch kranken Neugeborenen oder jungen Säugling kurativ. Sie ist aber meistens Therapie der Wahl wegen der geringeren Invasivität. Allgemein gilt ein Aufschub der Operation um Jahre, wenn möglich in eine Zeit nach Abschluss des Körperwachstums, als Erfolg. Eine große retrospektive Multizenterstudie zeigte, dass 50% von über 1000 Patienten, bei denen eine Aortenklappenstenose interventionell behandelt worden war, nach 10 Jahren noch frei von einem operativen Eingriff an der dilatierten Klappe waren [18].

Mitralklappenstenose

Angeborene Mitralklappenstenosen sind sehr selten und kommen meist im Rahmen von komplexen Vitien vor. Die Hauptindikation für eine katheterinterventionelle Ballonvalvuloplastie der Mit-

Mit der Aortenklappendilatation soll Zeit bis zur chirurgischen Therapie gewonnen werden

Die Dilatation mit einem initialen Ballondurchmesser von 80–90% des Aortenannulusdurchmessers ist erforderlich

Ein Aufschub der Operation auf die Zeit nach Abschluss des Körperwachstums gilt als Erfolg

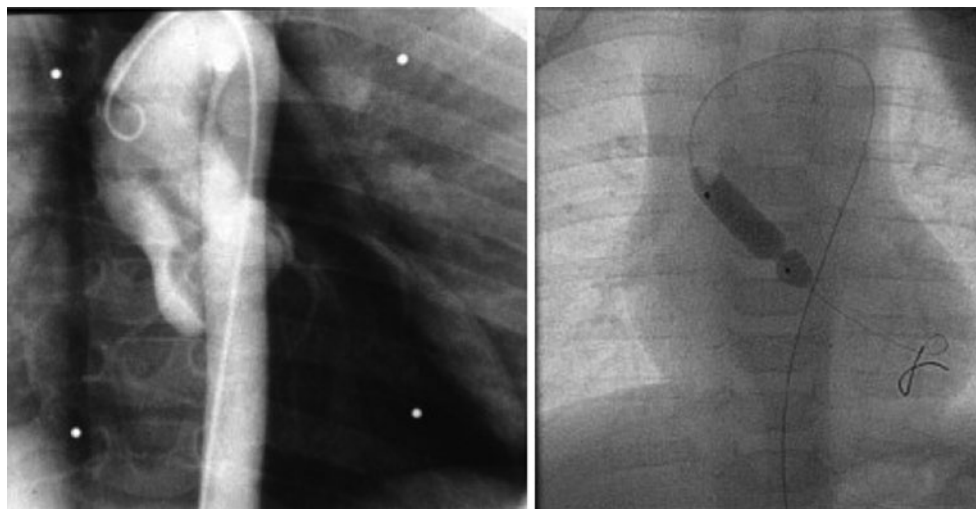


Abb. 10 ▲ Angiographische Darstellung einer Aortenklappenstenose mit „Domstellung“ der Klappe und poststenotischer Erweiterung der Aorta ascendens (links) und Darstellung der Schnürfurche im retrograd in die Klappe eingeführten Ballon (rechts)

ralklappe stellt die **rheumatische Mitralklappenstenose** dar, ein Krankheitsbild, dass in Mitteleuropa nur noch selten vorkommt. Häufig können durch die Intervention chirurgische Eingriffe vermieden werden [19].

Aortenisthmusstenose

Die Indikation zur Therapie einer Aortenisthmusstenose besteht bei einem systolischen Blutdruckgradienten ≥ 20 mmHg oder bei einem systolischen Blutdruckgradienten < 20 mmHg mit gleichzeitigem Vorliegen eines arteriellen Hypertonus und einer morphologisch bedeutsamen Stenose [1]. Die Ballondilatation der Aortenisthmusstenose stellt dabei weiterhin eine wichtige Therapieoption dar. Therapie der Wahl ist sie bei der nativen, zirkumskripten Stenose jenseits des Säuglingsalters sowie bei der postchirurgischen Aortenisthmusstenose. Aufgrund der Gefäßelastizität hat die Restenosierungsrate nach Dilatation ihr Maximum im frühen Säuglingsalter. Zudem liegt häufig ein hypoplastischer Bogen vor, sodass der chirurgischen Therapie für dieses Lebensalter der Vorzug zu geben ist. Bei der Ballonangioplastie wird die Stenose schrittweise aufgedehnt, bis der Ballondurchmesser etwa den ca. 2- bis 5-fachen **Isthmusedurchmesser** erreicht hat. Der maximale Ballondurchmesser sollte aber nicht größer als der prästenotische Durchmesser des Aortenbogens bzw. der Aorta auf Zwerchfellhöhe gewählt werden [1]. Komplikationen der Ballondilatation sind die seltene Aneurysmabildung nach tiefem Einriss der Gefäßwand. Die Gefäßruptur stellt eine absolute Rarität dar.

Die Stent-Therapie (■ **Abb. 9**) hat gegenüber der reinen Ballondilatation den Vorteil, dass die Stenose praktisch ohne Restgradienten aufgeweitet wird [20]. Zudem ist das Dissektions- (und Ruptur-) Risiko bei der Aufweitung mit Stent geringer als bei der alleinigen Ballondilatation. Nichtinterventionell behandelbar sind Stenosen in Verbindung mit einem ausgeprägten hypoplastischen Aortenbogen sowie Restenosen nach Operationen, bei denen zirkuläre Interponate aus Gore-Tex oder Dacron implantiert wurden.

Um Stents im Kindesalter einsetzen und sie über eine kleine Schleuse femoral zu implantieren zu können, werden ausreichend **kleine Stents** benötigt. Andererseits müssen die Stents im Laufe des Lebens bei zunehmendem Körperwachstum bis zu einem Durchmesser im Erwachsenenalter von 18–25 mm mehrmals nachdilatierbar sein [15, 16].

Neben der reinen Stent-Implantation gewinnt zunehmend die Implantation von „covered stents“ an Bedeutung [21]. Es handelt sich um Stents, die mit einer Gore-Tex-Membran umhüllt sind und somit nach der Implantation den mit dem Stent versorgten Gefäßabschnitt abdichten. Covered stents werden v. a. bei subatretischen und sehr festen Stenosen eingesetzt, bei denen das Risiko einer **Gefäßruptur** als höher angenommen wird.

Therapie der Wahl ist die **Ballondilatation** bei der nativen, zirkumskripten Stenose jenseits des Säuglingsalters

Bei der Stent-Therapie wird die Stenose praktisch ohne Restgradienten aufgeweitet

„Covered stents“ dichten den mit dem Stent versorgten Gefäßabschnitt ab

Der interventionelle Pulmonalklappenersatz ersetzt immer häufiger eine operative Therapie

Die Patienten können das Krankenhaus bereits 1 bis 3 Tage nach dem Eingriff verlassen



Abb. 11 ◀ Melody™-Klappe und Implantationsballon zur perkutanen Pulmonalklappenimplantation

Klappenimplantationen

Pulmonalklappenimplantation

Die bahnbrechende Erweiterung der therapeutischen Möglichkeiten in den vergangenen Jahren ist der perkutane Klappenersatz mit einer „**stented valve**“. Im Gegensatz zu den Erwachsenen stellt die Aortenklappenimplantation im Kindesalter keine Behandlungsoption dar. Dafür ersetzt der interventionelle Pulmonalklappenersatz immer häufiger eine operative Therapie [22, 23]. Ein interventioneller Pulmonalklappenersatz kann durchgeführt werden, wenn der rechtsventrikuläre Ausflusstrakt eine ausreichende Restriktion aufweist, um einen Stent mit Klappe stabil zu fixieren. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn in Pulmonalisposition im Rahmen einer **vorangehenden Korrekturoperation** (z. B. Totalkorrektur einer Fallot-Tetralogie) bereits ein nun dysfunktionelles stenotisches Conduit oder eine biologische Klappe chirurgisch implantiert wurde. Eine perkutane Pulmonalklappenimplantation in einem nativen, evtl. dilatierten rechtsventrikulären Ausflusstrakt mit führender Pulmonalklappeninsuffizienz ist bedeutend schwieriger oder sogar unmöglich, kann aber ggf. durch Stabilisierung und Verkleinerung des Ausflusstrakts durch Stent-Implantationen vorbereitet und ermöglicht werden. Die kurz- und mittelfristigen Ergebnisse des perkutanen Pulmonalklappenersatzes sind mit denen der chirurgisch implantierten Klappen vergleichbar, allerdings können die Patienten bereits 1 bis 3 Tage nach dem Eingriff das Krankenhaus verlassen mit entsprechend kurzer Rekonvaleszenz.

Zurzeit stehen 2 Klappen zur Verfügung: Melody™ (Fa. Medtronic Inc, Minneapolis, USA) und Sapien™ (Fa. Edwards Lifesciences, LLC, Irvine California, USA). Die Melody™-Klappe (◀ **Abb. 11, 12**), die seit September 2006 auf dem europäischen Markt zugelassen ist, besteht aus einer speziell präparierten **Rinderjugularvenenklappe**, die für den interventionellen Gebrauch in einen Platin-Stent eingenäht wurde und über eine Einführschleuse auf einem Implantationsballon (maximal 22 mm Durchmesser) an ihre Position gebracht wird. Die Intervention kann ab einem Körpergewicht des Patienten von 25–30 kg durchgeführt werden. Bisher wurden weltweit mehr als ca. 7000 Melody™-Klappen eingesetzt.

Die Segel der Sapien™-Klappe sind aus Rinderperikard geformt. Diese Klappe wurde bisher v. a. in Aortenposition bei Erwachsenen eingesetzt. Mit dem Einsatz in Pulmonalisposition und bei Kindern gibt es noch wenig Erfahrungen [24]. Ihr Vorteil liegt v. a. in ihrem etwas größeren Durchmesser (23 und 26 mm) im Vergleich zur Melody™-Klappe.

Hybridtherapie

Hybrideingriffe, eine Kombination/ein „joint venture“ aus Operation und Intervention, haben in den vergangenen Jahren das Spektrum der Behandlungsmöglichkeiten angeborener Herzfehler deutlich erweitert. Sie wurden bereits bei der Therapie des VSD und der Pulmonalarterienstenose erwähnt (s. Abschn. „Ventrikelseptumdefekt“ und „Pulmonalarterienstenose“). Prinzipiell kann man diese wie folgt einteilen:

- katheterassistierte chirurgische Eingriffe, wie intraoperative Ballondilatationen oder Stent-Implantationen,

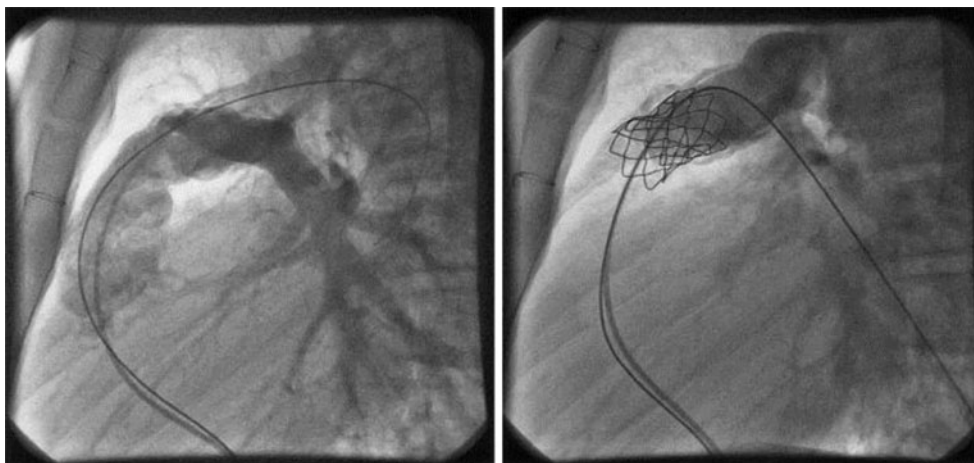


Abb. 12 ▲ Angiographie in einen Pulmonalarterienstamm mit degeneriertem Homograft und schwerer Insuffizienz vor (*links*) und ohne Stenose und Insuffizienz nach (*rechts*) einer perkutanen Melody™-Implantation

- chirurgisch-assistierte Herzkathetereingriffe, wie chirurgischer Gefäß- oder Ventrikelzugang oder ein periventrikulärer/transatrialer Device-Verschluss oder
- paritätische Eingriffe, wie das Hybridverfahren bei Patienten mit hypoplastischem Linksherzsyndrom.

Das Verfahren stellt eine Alternative zur Norwood-I-Operation dar [25]. Der Vorteil eines Hybrid-eingriffs besteht darin, dass in der Neonatalperiode eine komplexe Operation an der HLM vermieden werden kann und diese dann erst im Alter von 4 bis 6 Monaten durchgeführt werden muss. Ziel ist es, mit diesem schonenderen Eingriff eine frühe erste Operation an der HLM in der vulnerablen Neonatalperiode und damit mögliche schädigende Auswirkungen auf die intellektuelle und motorische Entwicklung der Kinder zu vermeiden. Hierbei wird katheterinterventionell (z. B. über einen chirurgisch gelegten Zugang am rechten Vorhof) ein Stent in den Ductus arteriosus implantiert und gleichzeitig operativ (ohne HLM) ein **bilaterales „banding“** der Pulmonalarterien durchgeführt. Die Norwood-Operation kann damit in ein Alter von 3 bis 5 Monaten nach hinten verschoben werden.

Trotz zunehmender Bedeutung sind echte Hybrid-OP mit permanenter Durchleuchtungsmöglichkeit, wie sie heutzutage in der Erwachsenenherzmedizin bereits weit verbreitet sind, im Kinderbereich noch eine Rarität.

Blick in die Zukunft

Seit Längerem wird auf dem Gebiet der Materialien geforscht, um insbesondere **(bio-)resorbierbare Materialien** zu entwickeln, die nach der Implantation im Langzeitverlauf rückstandslos verschwinden. Erste Ansätze gibt es bereits auf dem Gebiet der Stents und Okkluder, allerdings werden die meisten dieser Devices noch nicht im Alltag eingesetzt.

Darüber hinaus wird weiter versucht werden, operative Eingriffe durch weniger invasive Katheterinterventionen, auch als Hybrideingriffe wie z. B. beim hypoplastischen Linksherzsyndrom, zu ersetzen.

Ebenso ist es ein wichtiges Ziel, mithilfe neuer Echtzeitbildgebungsmöglichkeiten während der Interventionen (z. B. Eingriffe unter MRI oder Echokardiographie) Röntgenstrahlung einzusparen und so die Patienten schonender ohne Strahlenbelastung zu behandeln.

Schlussfolgerung

Seit der Erstbeschreibung eines interventionellen Eingriffs, der Ballonatrioseptektomie nach Rashkind 1966, hat sich das Gebiet der interventionellen Kardiologie rasant weiterentwickelt. Viele einfache angeborene Herzfehler sind heute allein interventionell behandelbar und benötigen keine Operation mehr. Bei komplexen angeborenen Herzfehlern wird die Katheterintervention als Ergänzung zur Operation benötigt. In Zukunft werden sicher noch weitere operative Schritte durch Katheterinter-

Eine komplexe Operation an der HLM kann in der Neonatalperiode durch den Hybrideingriff vermieden werden

Mithilfe neuer Echtzeitbildgebungsmöglichkeiten soll die Strahlenbelastung der Patienten vermieden werden

Entscheidend für die Wahl des Vorgehens ist das beste Langzeitergebnis

ventionen ersetzt oder ergänzt werden können. Die entscheidende Frage ist dabei aber nicht, was alles interventionell behandelt werden kann, sondern welches Vorgehen (Operation oder Intervention oder beides kombiniert) das beste Langzeitergebnis für die Patienten verspricht, und anhand dieser Ergebnisse muss den Patienten eine entsprechende Therapie angeboten werden.

Fazit für die Praxis

- Herzkatheterinterventionen können heutzutage bereits im Neugeborenenalter und in der gesamten Kindheit mit geringer Morbidität und Mortalität durchgeführt werden.
- Sie verteilen sich auf den Verschluss intrakardialer Shunts (v. a. ASD, PDA und ausgewählte VSD), Ballondilatationen (v. a. valvuläre Pulmonal- und Aortenstenose) sowie Stent-Implantationen (v. a. Pulmonalarterien- und Aortenisthmusstenosen).
- Bei einigen Herzfehlern haben die weniger invasiven Katheterinterventionen die chirurgischen Verfahren weitestgehend ersetzt. Bei der valvulären Pulmonalstenose, beim ASD sowie bei der Aortenisthmusstenose und beim PDA jenseits des frühen Säuglingsalters sind diese heutzutage Therapie der ersten Wahl.
- Die erst seit einigen Jahren verfügbare Möglichkeit des perkutanen Pulmonalklappenersatzes mit Stented valves, die auf einem Ballon über einen Gefäßzugang in der Leiste implantiert werden, stellt einen weiteren Meilenstein in der Behandlung angeborener Herzfehler dar. Weitere Innovationen, die v. a. die Materialien von Implantaten und die Verfahren selber betreffen, werden folgen.
- Trotz definierter Indikationsgrenzen und Verfahren für die Behandlung der einzelnen Herzfehler ist die Entscheidungsfindung immer auch an den individuellen und variablen Bedingungen des einzelnen Patienten orientiert, sodass dann gelegentlich Hybridverfahren (Kombination aus Chirurgie und Katheterintervention) bereits im Kindesalter zum Einsatz kommen.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. O. Kretschmar
Universitätskinderklinik Zürich
Steinwiesstr. 75, 8032 Zürich
oliver.kretschmar@kispi.uzh.ch

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. O. Kretschmar, S. Navarini, W. Knirsch geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Schmaltz AA (2007) Leitlinien zur Diagnostik und Therapie in der Pädiatrischen Kardiologie. Elsevier, München
2. Fischer G, Stieh J, Uebing A et al (2003) Experience with transcatheter closure of secundum atrial septal defects using the Amplatzer septal occluder: a single centre study in 236 consecutive patients. *Heart* 89:199–204
3. Schubert S, Kainz S, Peters B et al (2012) Interventional closure of atrial septal defects without fluoroscopy in adult and pediatric patients. *Clin Res Cardiol* 101(9):691–700
4. Ewert P, Kretschmar O, Peters B et al (2004) Interventioneller Verschluss angeborener Ventrikelseptumdefekte – breitere Indikationsstellung dank neuer Implantate. *Z Kardiol* 93(2):147–155
5. Carminati M, Butera G, Chessa M et al (2007) Transcatheter closure of congenital ventricular septal defects: results of the European Registry. *Eur Heart J* 28:2361–2368
6. Michel-Behnke I, Ewert P, Koch A et al (2011) Device closure of ventricular septal defects by hybrid procedures: a multicenter retrospective study. *Catheter Cardiovasc Interv* 77:242–251
7. Xing Q, Pan S, An Q et al (2010) Minimally invasive periventricular device closure of perimembranous ventricular septal defect without cardiopulmonary bypass: multicenter experience and mid-term follow-up. *J Thorac Cardiovasc Surg* 139(6):1409–1415
8. Galal MO, Hussain A, Arfi AM (2006) Do we still need the surgeon to close the persistently patent arterial duct? *Cardiol Young* 16(6):522–536

9. Habib G, Hoen B, Tornos P et al (2009) Guidelines on the prevention, diagnosis, and treatment of infective endocarditis (new version 2009): the Task Force on the Prevention, Diagnosis, and Treatment of Infective Endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ESCMID) and the International Society of Chemotherapy (ISC) for Infection and Cancer. *Eur Heart J* 30(19):2369–2413
10. Rashkind WJ, Miller WW (1966) Creation of an atrial septal defect without thoracotomy. A palliative approach to complete transposition of the great arteries. *JAMA* 196:991–992
11. Rao PS (2007) Percutaneous balloon pulmonary valvuloplasty: state of the art. *Catheter Cardiovasc Interv* 69(5):747–763
12. Harrild DM, Powell AJ, Tran TX et al (2010) Long-term pulmonary regurgitation following balloon valvuloplasty for pulmonary stenosis risk factors and relationship to exercise capacity and ventricular volume and function. *J Am Coll Cardiol* 55:1041–1047
13. Bacha EA, Kreutzer J (2001) Comprehensive management of branch pulmonary artery stenosis. *J Interv Cardiol* 14(3):367–375
14. Bergersen LJ, Perry SB, Lock JE (2003) Effect of cutting balloon angioplasty on resistant pulmonary artery stenosis. *Am J Cardiol* 91(2):185–189
15. Benson LN, Nykanen D, Freedom RM (1996) Endovascular stents in congenital heart disease. *Prog Cardiovasc Dis* 39(2):165–186
16. Mc Mahon CJ, El-Said HG, Grifka RG et al (2001) Redilation of endovascular stents in congenital heart disease: factors implicated in the development of restenosis and neointimal proliferation. *J Am Coll Cardiol* 38(2):521–526
17. Daehnert I, Rotzsch C, Wiener M, Schneider P (2004) Rapid right ventricular pacing is an alternative to adenosine in catheter interventional procedures for congenital heart disease. *Heart* 90(9):1047–1050
18. Ewert P, Bertram H, Breuer J et al (2011) Balloon valvuloplasty in the treatment of congenital aortic valve stenosis – a retrospective multicenter survey of more than 1000 patients. *Int J Cardiol* 149(2):182–185
19. Arora R, Mukhopadhyay S, Yusuf J, Trehan V (2007) Technique, results, and follow-up of interventional treatment of rheumatic mitral stenosis in children. *Cardiol Young* 17:3–11
20. Fruh S, Knirsch W, Dodge-Khatami A et al (2011) Comparison of surgical and interventional therapy of native and recurrent aortic coarctation regarding different age groups during childhood. *Eur J Cardiothorac Surg* 39(6):898–904
21. Ewert P, Abdul-Khalik H, Peters B et al (2004) Transcatheter therapy of long extreme subaortic aortic coarctations with covered stents. *Catheter Cardiovasc Interv* 63:236–239
22. Lurz P, Coats L, Khambadkone S et al (2008) Percutaneous pulmonary valve implantation: impact of evolving technology and learning curve on clinical outcome. *Circulation* 117(15):1964–1972
23. McElhinney DB, Hellenbrand WE, Zahn EM et al (2010) Short- and medium-term outcomes after transcatheter pulmonary valve placement in the expanded multicenter US melody valve trial. *Circulation* 122(5):507–516
24. Haas NA, Moysich A, Neudorf U et al (2013) Percutaneous implantation of the Edwards SAPIEN(™) pulmonic valve: initial results in the first 22 patients. *Clin Res Cardiol* 102(2):119–128
25. Galantowicz M, Cheatham JP, Phillips A et al (2008) Hybrid approach for hypoplastic left heart syndrome: intermediate results after the learning curve. *Ann Thorac Surg* 85:2063–2070

CME-Fragebogen

Bitte beachten Sie:

- Teilnahme nur online unter: springermedizin.de/eAkademie
- Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online individuell zusammengestellt.
- Es ist immer nur eine Antwort möglich.

? Was trifft *nicht* zu? Für die folgenden angeborenen Herzfehler im Kindesalter stellen Herzkatheterinterventionen ein etabliertes Therapieverfahren dar:

- ☐ Vorhofseptumdefekt vom Sekundumtyp
- ☐ Pulmonalklappenstenose
- ☐ Persistierender Ductus arteriosus
- ☐ dextro-Transposition der großen Arterien
- ☐ Aortenisthmusstenose

? Für den interventionellen ASD-Verschluss gilt welche Aussage?

- ☐ Es können heutzutage alle Vorhofseptumdefekte (ASD), unabhängig von ihrer Lage und Größe, katheterinterventionell verschlossen werden.
- ☐ Die meisten Implantate zum interventionellen Verschluss von ASD werden aus Stahl hergestellt.
- ☐ Der größte Vorteil des interventionellen Verschlusses eines ASD gegenüber dem chirurgischen Verschluss sind die höheren Verschlussraten.
- ☐ Die wichtigste und unverzichtbare Bildgebung während eines interventionellen ASD-Verschlusses ist die transösophageale Echokardiographie, die teilweise bereits auch ohne Röntgendurchleuchtung zum Einsatz kommt.
- ☐ Zirka 50% aller ASD müssen heutzutage noch chirurgisch verschlossen werden.

? Welche Aussage trifft *nicht* zu? „Perkutane Klappen“ ...

- ☐ wurden in erster Linie für die Behandlung degenerierter Gefäßprothesen (Grafts) in Pulmonalarterienposition entwickelt.
- ☐ bestehen aus einer tierischen Klappe, die in einen Stent eingenäht wurde.
- ☐ werden auf einem Ballon befestigt und mit diesem implantiert.
- ☐ halten wahrscheinlich lebenslang, da sie keine immunologischen Reaktionen auslösen.
- ☐ beseitigen sowohl eine vorbestehende Graft-Stenose als auch -Insuffizienz sofort und effizient.

? Welche Aussage trifft zu? Angeborene valvuläre Pulmonalstenosen ...

- ☐ sind harmlos und brauchen in der Regel keine Therapie, da sie nur das rechte Herz belasten.
- ☐ können bei entsprechender Ausprägung bereits beim Neugeborenen zu einer kritischen Kreislagsituation führen und müssen dann rasch behandelt werden.
- ☐ sollten primär operiert werden.
- ☐ können mit einer Ballondilatation primär gut behandelt werden, allerdings benötigen danach im weiteren Verlauf mehr als 50% der Kinder aufgrund einer wiederkehrenden Stenose einen erneuten Eingriff.
- ☐ sind immer mit zusätzlichen kardialen Fehlbildungen assoziiert.

? Welche Aussage bezüglich der Implantation eines Stents im Kindesalter ist *falsch*? Stents ...

- ☐ können auch bei Kindern erfolgreich, z. B. in Aortenisthmusstenosen oder Pulmonalarterienstenosen, implantiert werden.
- ☐ sollten bei Kindern optimalerweise von einem relativ geringen Durchmesser bis zum adulten Gefäßdurchmesser nachdilatable sein.
- ☐ können bei Kindern bei geringem Durchmesser und/oder Implantation in das venöse Gefäßsystem durch Neointimabildung zu einer Restenose führen.
- ☐ können bei kleinen Kindern auch in einem sog. Hybridverfahren intraoperativ implantiert werden, um so große Einführschleusen zu vermeiden.
- ☐ können in der Regel problemlos mit den kindlichen Gefäßen mitwachsen.

? Welche Aussage in Bezug auf interventionelle Verschlussverfahren für VSD ist *falsch*?

- ☐ Für den interventionellen VSD-Verschluss bei kleinen Kindern wurden sog. Hybridverfahren mit einem periventrikulären Zugang zum Herzen am offenen Thorax entwickelt.
- ☐ Für den interventionellen VSD-Verschluss bei Kindern stehen heutzutage spezielle Doppelschirmchen und Coils zur Verfügung.
- ☐ Beim interventionellen Verschluss von perimembranösen VSD besteht, wie für den chirurgischen Verschluss, ein geringes Risiko für einen postinterventionellen AV-Block.



Für Zeitschriftenabonnenten ist die Teilnahme am e.CME kostenfrei

- ☐ Interventionelle Verschlussverfahren für VSD im Kindesalter sind heutzutage bereits Therapie der ersten Wahl für die allermeisten VSD.
- ☐ Beim interventionellen Verschluss eines perimembranösen VSD muss auf einen ausreichenden Abstand zum Aortenklappenannulus geachtet werden, um keine Aortenklappeninsuffizienz zu verursachen.

? Bei welchem Herzfehler ist die postnatale Durchführung eines Rashkind-Manövers (Ballonatrioseptostomie) am ehesten indiziert?

- ☐ dextro-Transposition der großen Arterien
- ☐ Fallot-Tetralogie
- ☐ Persistierender Ductus arteriosus
- ☐ Valvuläre Pulmonalstenose
- ☐ Aortenisthmusstenose

? Welche Aussage in Bezug auf einen PDA trifft zu?

- ☐ Jeder PDA sollte verschlossen werden.
- ☐ Der interventionelle PDA-Verschluss ist gerade im Kindesalter ein hochkomplexer Eingriff und sollte daher, wenn möglich, vermieden werden.
- ☐ Im Rahmen des sog. Hybridverfahrens zur initialen Behandlung von Patienten mit hypoplastischem Linksherzsyndrom im Neugeborenenalter wird u. a. eine Stent-Implantation in den PDA durchgeführt.
- ☐ Das Endokarditisrisiko ist gerade bei Patienten mit sehr kleinem PDA und schmalen Jet außergewöhnlich hoch.
- ☐ Die Verschlussraten nach interventionellem PDA-Verschluss sind gering und liegen deutlich unter 70%.

? Bei Vorliegen einer kongenitalen Aortenklappenstenose kann folgende Aussage *nicht* getroffen werden:

- ☐ Eine Aortenklappenstenose sollte bei einem systolischen Druckgradienten über 65 mmHg behandelt werden.
- ☐ Die Ballondilatation einer kongenitalen Aortenklappenstenose ist für die meisten Patienten eine dauerhafte Lösung und bedarf auch im weiteren Verlauf keiner erneuten Eingriffe.
- ☐ Während der Ballondilatation einer Aortenklappenstenose erfolgt gelegentlich ein „overdrive pacing“ oder die i.v.-Gabe von Adenosin, um so kurzfristig einen funktionellen Herzstillstand und damit eine Stabilisierung des Ballons zu erzielen.
- ☐ Die Ballondilatation einer Aortenklappenstenose erfolgt meistens mit einem Ballondurchmesser, der 80–90% des Aortenklappenannulusdurchmessers entspricht.
- ☐ Bei einer schwer eingeschränkten linksventrikulären Funktion kann die Ballondilatation einer Aortenklappenstenose auch bereits bei niedrigeren Druckgradienten unter 65 mmHg indiziert sein.

? Welche Aussage trifft *nicht* zu? Zur Vermeidung einer peri-/postinterventionellen Thrombose der kleinen Gefäße im Rahmen von Herzkatheteruntersuchungen bei kleinen Kindern sind wichtig:

- ☐ die Verwendung kleinstmöglicher Gefäßschleusen
- ☐ eine schonende Gefäßpunktion
- ☐ eine möglichst kurze Eingriffsdauer
- ☐ eine suffiziente peri- und postinterventionelle Antikoagulation
- ☐ die Anlage eines möglichst festen Druckverbands nach Entfernung der Gefäßschleuse

Diese zertifizierte Fortbildung ist 12 Monate auf springermedizin.de/eAkademie verfügbar. Dort erfahren Sie auch den genauen Teilnahmeschluss. Nach Ablauf des Zertifizierungszeitraums können Sie diese Fortbildung und den Fragebogen weitere 24 Monate nutzen.